(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0113216
(43) 공개일자 2013년10월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/42 (2006.01) *H01L 51/48* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0035617
(22) 출원일자 2012년04월05일
심사청구일자 2012년04월05일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
김한기
경기도 수원시 영통구 영통동 성지아파트 712동 602호
강신비
서울특별시 서대문구 연희동 719-5 연희맨션 B동 303호
(74) 대리인
서재승

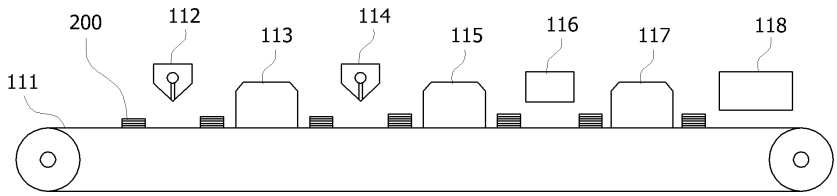
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **다층 투명 전극을 구비하는 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 인버티드 유기 태양전지의 구성요소 중 투명 전극과 전자 흡수층을 포함하는 다층 투명 전극을 동일 스퍼터 챔버 내부에서 진공 상태를 유지하며 연속하여 스퍼터링 공정을 통해 제조하고 나머지 구성요소는 다층 투명 전극을 이동 벨트를 따라 용액 공정을 이용하여 인쇄 방식으로 제조함으로써 인버티드 유기 태양전지의 제조 시설과 제조 공정을 줄일 수 있는 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 관한 것이다.

대 표 도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20113010010030
부처명	지식경제부
연구사업명	신재생에너지융합원천기술개발사업
연구과제명	고안정성 폴리머 태양전지 모듈 제조 기술 개발
주관기관	경희대학교 산학협력단
연구기간	2011.06.01 ~ 2016.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

기판 위에 음극 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수를 위한 전자 흡수층의 순서로 구성되는 일체형 다층 투명 전극을 스퍼터링 방식으로 제작하는 단계; 및

상기 제작한 다층 투명 전극을 이동 벨트 위에 배치하여 상기 다층 전극 전극을 이동시키며 용액 공정을 이용한 인쇄 방식으로 상기 다층 투명 전극의 전자 흡수층 상면에 광활성층 및 양극 전극층을 제작하는 단계를 포함하는 인버티드 유기 태양전지 제조 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 일체형 다층 투명 전극의 음극 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수층은

진공 스퍼터 챔버 내에 위치하는 음극 투명 전극층 타켓, 금속층 타켓, 전자 흡수층 타켓을 상기 기판 위에 연속으로 스터퍼링하여 제조되는 것을 특징으로 하는 인버티드 유기 태양전지 제조 방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 일체형 다층 투명 전극의 음극 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수층은

상기 진공 스퍼터 챔버 내에 배치되어 있는 회전 드럼을 통해 회전 이동하는 유연한(flexible) 기판 위에 상기 음극 투명 전극층 타켓, 금속층 타켓, 전자 흡수층 타켓을 연속으로 스터퍼링하여 제조되는 것을 특징으로 하는 인버티드 유기 태양전지 제조 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서, 상기 광활성층 및 양극 전극층을 제작하는 단계는

이동 벨트 위에 상기 제작한 다층 투명 전극을 배치하여 상기 다층 투명 전극을 상기 이동 벨트를 따라 이동시키는 단계;

상기 다층 투명 전극의 이동 경로 상에 위치하는 제1 슬롯 다이(slot die)를 이용하여 상기 다층 투명 전극의 전자 흡수층 상면에 광활성층 용액을 분사시켜 용액 공적으로 상기 광활성층을 제작하는 단계; 및

오목 인쇄 방식으로 상기 광활성층 상면에 양극 전극 용액을 인쇄하여 상기 양극 전극층을 제작하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 인버티드 유기 태양전지 제조 방법.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 상기 광활성층 및 양극 전극층을 제작하는 단계는

상기 다층 투명 전극의 이동 경로 상에 위치하는 제2 슬롯 다이를 이용하여 상기 광활성층과 상기 양극 전극층 사이의 상기 광활성층 상면에 정공 흡수 용액을 분사시켜 용액 공정으로 정공 흡수를 위한 정공 흡수층을 제작하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 인버티드 유기 태양전지 제조 방법.

청구항 6

제 1 항 내지 제 5 항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 다층 투명 전극의

상기 음극 투명 전극층은 인듐주석산화물(ITO, Indium Tin Oxide)이며,

상기 금속층은 반사방지 효과를 발생하는 은, 구리, 알루미늄, 금 중 어느 하나이며,

상기 전자 흡수층은 아연산화물인 것을 특징으로 하는 인버티드 유기 태양전지 제조 방법.

청구항 7

기판;

상기 기판의 상면에 순차적으로 형성되어 있는 음극 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수층을 구비하는 다층 투명 전극;

상기 타층 투명 전극의 상면에 형성되어 있는 광흡수층; 및

상기 광흡수층의 상면에 형성되어 있는 양극 전극층을 구비하는 것을 특징으로 하는 인버티드 유기 태양전지.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 상기 다층 투명 전극의 음극 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수층은 스퍼터링 공정으로 상기 기판의 상면에 형성되며,

상기 광흡수층 및 상기 양극 전극층은 상기 다층 투명 전극의 상면에 용액 공정으로 형성되는 것을 특징으로 하는 인버티드 유기 태양전지.

청구항 9

제 7 항에 있어서, 상기 인버티드 유기 태양전지는

상기 광흡수층의 상면과 상기 양극 전극층의 하면에 정공 흡수층을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 인버티드 유기 태양전지.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 인버티드 유기 태양전지의 구성요소 중 투명 전극과 전자 흡수층을 포함하는 다층 투명 전극을 동일 스퍼터 챔버 내부에서 진공 상태를 유지하며 연속하여 스퍼터링 공정을 통해 제조하고 나머지 구성요소는 다층 투명 전극이 형성된 기판을 이동 벨트를 따라 이동시키며 용액 공정을 이용하여 인쇄 방식으로 제조함으로써 인버티드 유기 태양전지의 제조 시설과 제조 공정을 줄일 수 있는 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 지구온난화 등의 환경문제로 청정 대체에너지의 필요성이 높아지고 있다. 이러한 이유로 수소/연료전지, 태양전지, 풍력 등의 대체에너지원 개발에 많은 연구가 이루어지고 있으며, 에너지 자원량이 가장 많은 태양전지에 대한 연구가 활발하다.

[0003] 태양전지는 빛에너지를 전기에너지로 직접 변환시켜 주는 소자이다. 상용화 초기에는 결정질 실리콘 태양전지가 대부분이었으나, 결정질 실리콘의 높은 생산 단가 때문에, 무기박막 태양전지, 연료감응형 태양전지, 유기박막 태양전지 등의 상대적으로 저렴한 신규 태양전지로의 연구가 집중되고 있다. 실리콘을 중심으로 한 무기 태양전지는 높은 변환효율을 갖지만, 제작공정 과정에 높은 비용이 들며, 무게 및 유연성에 한계를 지닌다. 이러한 이유로 무기태양전지가 사용될 수 없는 시장을 중심으로 유기태양전지의 수요가 예상된다.

[0004] 유기태양전지는 값싼 유기물을 사용하기 때문에 높은 생산성을 기대할 수 있다. 또한, 전체 소자의 두께가 수백 nm에 불과하고 플렉시블하게 제작할 수 있어 무게와 두께, 형태에 제약이 적어 초소형 혹은 이동통신용 기기 등의 새로운 용도의 전원으로 응용 가능성이 기대되고 있다.

[0005] 인버티드 유기태양전지의 구성도를 도시하고 있는 도 1을 참고로 살펴보면, 인버티드 유기태양전지는 기판(11) 위에 형성된 금속(12)-버퍼층(13)-유기 반도체(광활성층)(14)-금속(15) 구조로 간단히 나타낼 수 있는데, 높은 일함수를 갖는 투명 전극인 ITO를 음극(12)으로 하고, 낮은 일함수를 갖는 Al이나 Ca 등을 양극(15) 물질로 사용한다. 광활성층(14)은 100nm 정도의 두께를 가진 전자주게 물질(Electron donor)과 전자받게 물질(Electron acceptor)의 2층 구조(D/A bi-layer structure) 혹은 bulk-heterojunction((D+A) blend) 구조를 이용하는데, 경우에 따라서는 전자의 두 donor-acceptor 층 사이에 후자의 bulk-heterojunction 구조가 끼어있는 혼합구조(D/(D+A)/A)를 이용하기도 한다. 광활성층으로 사용되는 유기 반도체에는 유기 단분자와 고분자가 있다.

[0006] 유기태양전지에 광을 쬐어주면, 전자주게 물질에서 광을 흡수하여 여기상태의 전자-정공 쌍(Exciton)이 형성된다. 여기상태의 전자-정공 쌍은 임의 방향으로 확산하다가 전자받게 물질과의 계면을 만나면 전자와 정공으로 분리된다. 즉, 계면에서 전자는 전자 친화도가 큰 전자받게 물질 쪽으로 이동하고 정공은 전자주게 물질 쪽에

남아 각각의 전하 상태로 분리된다. 이들은 양쪽 전극의 일함수 차이로 형성된 내부 전기장과 쌓여진 전하의 농도 차에 의해 각각의 전극으로 이동하여 수집되며, 최종적으로 외부 회로를 통해 전류의 형태로 흐르게 된다.

[0007] 인버티드 유기태양전지의 종래 제조 공정을 도 2를 참고로 살펴보면, 패턴 형상된 투명 전극(TCO, Transparent conductive oxide)을 구비하는 기판 유닛(10)을 이동 벨트(31) 위에 배치하여 이동 벨트(31)를 따라 기판 유닛(10)을 이동시킨다. 이동 벨트(31)의 이동 경로 상에 제1 슬롯 다이(32)가 배치되어 있다. 제1 슬롯 다이(32)는 이동 벨트(31)를 따라 이동하는 투명 전극의 상면에 전자 흡수 용액을 분사하여 용액 공정(solution process)으로 투명 전극의 상면에 전자 흡수층을 형성한다. 투명 전극의 상면에 분사된 전자 흡수 용액은 이동 벨트(31)의 이동 경로 상에 위치하는 제1 건조기(33)에 의해 건조된다.

[0008] 전자 흡수층이 형성된 기판 유닛은 이동 벨트(31)를 따라 계속 이동한다. 이동 벨트(31)의 이동 경로 상에 배치되어 있는 제2 슬롯 다이(34)는 활성 용액을 전자 흡수층의 상면에 분사하여 용액공정으로 전자 흡수층의 상면에 활성층을 형성한다. 전자 흡수층의 상면에 분사된 활성 용액은 이동 벨트(31)의 이동 경로 상에 위치하는 제2 건조기(35)에 의해 건조된다.

[0009] 한편, 활성층이 형성된 기판 유닛은 이동 벨트(31)를 따라 계속 이동한다. 이동 벨트(31)의 이동 경로 상에 배치되어 있는 제3 슬롯 다이(36)는 정공 흡수 용액을 활성층의 상면에 분사하여 용액 공정으로 활성층의 상면에 정공 흡수층을 형성한다. 활성층의 상면에 분사된 정공 흡수 용액은 이동 벨트(31)의 이동 경로 상에 위치하는 제3 건조기(37)에 의해 건조된다.

[0010] 정공 흡수층이 형성된 기판은 이동 벨트(31)를 따라 계속 이동하며, 이동 벨트(31)의 이동 경로 상에 배치되어 있는 오목 인쇄 유닛(38)을 통해 정공 흡수층의 상면에 오목 인쇄 방식(gravure)으로 양극 전극을 인쇄하여 인버티드 유기태양전지를 제조한다. 인쇄된 양극 전극은 이동 벨트(31)의 이동 경로 상에 위치하는 제4 건조기(39)에 의해 건조된다. 라미네이터 유닛(40)은 제조된 인버티드 유기태양전지를 코팅 필름으로 인캡슐레이트하여 수분과 산소로부터 인버티드 유기태양전지를 보호한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 위에서 설명한 종래 인버티드 유기 태양전지의 제조 공정에서는 전자 흡수층을 포함하여 활성층, 정공 흡수층, 양극 전극층을 용액 공정으로 제조한다. 최근에는 유기 태양전지의 면적이 대면적화되는 추세인데, 슬롯 다이를 통해 용액 공정을 이용하여 전자 흡수층을 형성하는 경우 전자 흡수층의 균일도가 낮아져 유기 태양전지의 성능이 저하되는 문제점을 가진다.

[0012] 또한 종래 인버티드 유기 태양전지의 제조 공정에서는 유기 태양전지의 전자 흡수층, 활성층, 정공 흡수층을 형성하기 위해 전자 흡수층, 활성층, 정공 흡수층에 각각 할당된 슬롯 다이와 건조기를 구비하여야 하기 때문에, 제조 설비가 복잡해지며, 특히 전자 흡수층을 형성하기 위해 적절한 균일 농도의 전자 흡수 용액을 지속적으로 전자 흡수층을 형성하는 슬롯 다이에 공급하는 것이 사실상 용이하지 않다.

[0013] 본 발명은 위에서 언급한 종래 인버티드 유기 태양전지 제조 공정이 가지는 문제점들을 해결하기 위한 것으로, 본 발명이 이루고자 하는 목적은 인버티드 유기 태양전지의 구성요소 중 투명 전극과 전자 흡수층을 포함하는 다층 투명 전극은 스퍼터링 공정을 통해 제조하며, 나머지 구성요소는 용액 공정을 이용하여 인쇄 방식으로 제조하여 제조 시설과 제조 공정을 줄일 수 있는 인버티드 유기 태양전지 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0014] 본 발명이 이루고자 하는 다른 목적은 연속 스터터링 공정에 의해 진공 상태를 유지한 상태에서 전자 흡수층 타켓으로 균일한 전자 흡수층을 형성하여 대면적 인버티드 유기 태양전지의 제조가 가능한 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0015] 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 목적은 기판 위에 형성되는 투명 전극은 통상적으로 진공 상태에서 스퍼터링 공정을 통해 제조되는데, 투명 전극과 전자 흡수층을 형성하기 위한 복수의 스퍼터링 타켓을 스퍼터 챔버 내에 배치하여 진공 상태를 유지한 상태에서 투명 전극과 전자 흡수층을 제조함으로써 전자 흡수층의 제조 공정을 간소화한 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0016] 본 발명이 이루고자 하는 또 다른 목적은 투명 전극과 전자 흡수층 사이에 금속층을 투명 전극, 전자 흡수층과 함께 연속 스퍼터링 공정으로 제조하여 반사 방지 효과에 의한 투명한 다층 박막을 제조할 수 있으며, 금속층으

로 인해 전기전도도를 향상시킬 수 있으며 투명 전극을 얇게 형성하더라도 높은 유연성을 가지는 인버티드 유기 태양전지 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법은 기판 위에 음극 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수를 위한 전자 흡수층의 순서로 구성되는 일체형 다층 투명 전극을 스퍼터링 방식으로 제작하는 단계와, 제작한 다층 투명 전극을 이동 벨트 위에 배치하여 다층 전극층을 이동시키며 용액 공정을 이용한 인쇄 방식으로 다층 투명 전극의 투명 버퍼층 상면에 광활성층 및 양극 전극층을 제작하는 단계를 포함한다.

[0018] 여기서 일체형 다층 투명 전극은 진공 스퍼터 챔버 내에 위치하는 음극 투명 전극층 타켓, 금속층 타켓, 전자 흡수층 타켓을 기판 위에 연속으로 스터퍼링하여 음극 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수층을 제조하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 바람직하게, 일체형 다층 투명 전극은 진공 스퍼터 챔버 내에 배치되어 있는 회전 드럼을 통해 회전 이동하는 유연한(flexible) 기판 위에 음극 투명 전극층 타켓, 금속층 타켓, 전자 흡수층 타켓을 연속으로 스터퍼링하여 음극 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수층을 제조하는 것을 특징으로 한다.

[0020] 여기서 음극 투명 전극층은 인듐주석산화물(ITO, Indium Tin Oxide)이며, 금속층은 반사방지 효과를 발생하는 은, 구리, 알루미늄, 금 중 어느 하나이며, 전자 흡수층은 아연산화물인 것을 특징으로 한다.

[0021] 광활성층 및 양극 전극층을 제작하는 단계는 보다 구체적으로 이동 벨트 위에 제작한 다층 투명 전극을 배치하여 다층 투명 전극을 이동 벨트를 따라 이동시키는 단계와, 다층 투명 전극의 이동 경로 상에 위치하는 제1 슬롯 다이(slot die)를 이용하여 다층 투명 전극의 전자 흡수층 상면에 광활성층 용액을 분사시켜 용액 공적으로 광활성층을 제작하는 단계와, 오목 인쇄 방식(gravure)으로 광활성층 상면에 양극 전극 용액을 인쇄하여 양극 전극층을 제작하는 단계를 포함한다.

[0022] 바람직하게, 광활성층 및 양극 전극층을 제작하는 단계는 다층 투명 전극의 이동 경로 상에 위치하는 제2 슬롯 다이를 이용하여 광활성층과 양극 전극층 사이의 광활성층 상면에 정공 흡수 용액을 분사시켜 용액 공정으로 정공 흡수를 위한 정공 흡수층을 제작하는 단계를 더 포함한다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법은 종래 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법과 비교하여 다음과 같은 다양한 효과를 가진다.

[0024] 첫째, 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법은 인버티드 유기 태양전지의 구성요소 중 투명 전극과 전자 흡수층을 포함하는 다층 투명 전극을 동일 스퍼터 챔버 내부에서 진공 상태를 유지하며 연속하여 스퍼터링 공정을 통해 제조하고 나머지 구성요소는 다층 투명 전극이 형성되어 있는 기판을 이동 벨트를 따라 용액 공정을 이용하여 인쇄 방식으로 제조함으로써, 제조 시설과 제조 공정을 줄일 수 있다.

[0025] 둘째, 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법은 연속 스터터링 공정에 의해 진공 상태를 유지한 상태에서 전자 흡수층 타켓으로 균일한 전자 흡수층을 형성함으로써, 광효율이 높은 대면적 인버티드 유기 태양전지의 제조가 가능하다.

[0026] 셋째, 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법은 투명 전극과 전자 흡수층을 형성하기 위한 각각의 스퍼터링 타켓을 스퍼터 챔버 내에 배치하여 진공 상태를 유지한 상태에서 투명 전극과 전자 흡수층을 제조함으로써, 전자 흡수층의 제조 공정을 간소화할 수 있다.

[0027] 넷째, 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법은 투명 전극과 전자 흡수층 사이에 금속층을 투명 전극, 전자 흡수층과 함께 연속 스퍼터링 공정으로 제조함으로써, 반사 방지 효과에 의한 투명한 다층 박막을 제조할 수 있으며 금속층으로 인해 전기전도도를 크게하여 광효율을 향상시키며 투명 전극을 얇게 형성하더라도 높은 유연성을 가지는 인버티드 유기 태양전지 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 인버티드 유기태양전지의 구성도를 도시하고 있다.

도 2는 인버티드 유기태양전지의 종래 제조 공정을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명에 따른 다층 투명 전극의 일 예를 설명하기 위한 단면도이다.

도 5는 본 발명에 따른 다층 투명 전극을 제조하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명에 따른 다층 투명 전극을 제조하는 방법의 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 따라 제조된 인버티드 유기 태양전지와 종래 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 따라 제조된 인버티드 유기 태양전지의 성능을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하 첨부한 도면을 참고로 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 대해 보다 구체적으로 살펴본다.

[0030] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[0031] 도 3을 참고로 본 발명의 일 실시예에 따른 인버티드 유기 태양전지 제조 시스템을 이용한 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법을 보다 구체적으로 살펴보면, 기판 위에 스퍼터링 공적으로 순차적으로 음극 투명 전극층, 금속층, 전자 흡수층을 형성하여 다층 투명 전극을 제조하고, 다층 투명 전극이 형성되어 있는 기판 유닛(200)을 이동 벨트(111) 위에 배치하여 이동 벨트(111)를 따라 기판 유닛(200)을 이동시킨다. 이동 벨트(111)의 이동 경로 상에 제1 슬롯 다이(112)가 배치되어 있다. 제1 슬롯 다이(112)는 이동 벨트(111)를 따라 이동하는 다층 투명 전극의 전자 흡수층의 상면에 활성 용액을 분사하여 용액공정으로 전자 흡수층의 상면에 활성층을 형성한다. 여기서 활성 용액은 30mg-P3HT(poly 3-hexylthiophene) 또는 15mg-PCBM([6,6]-phenyl-C61-butyric acid methylester) 용매에 2mg-CB(chloro-benzen) 용질을 혼합하여 제조되는데, 본 발명이 적용되는 분야에 따라 활성층을 형성하기 위한 다양한 활성 용액이 사용될 수 있다. 전자 흡수층의 상면에 분사된 활성 용액은 이동 벨트(111)의 이동 경로 상에 위치하는 제1 건조기(113)에 의해 건조된다.

[0032] 한편, 활성층이 형성된 기판 유닛(200)은 이동 벨트(111)를 따라 계속 이동한다. 이동 벨트(111)의 이동 경로 상에 배치되어 있는 제2 슬롯 다이(114)는 정공 흡수 용액을 활성층의 상면에 분사하여 용액 공정으로 활성층의 상면에 정공 흡수층을 형성한다. 여기서 정공 흡수 용액은 Poly3, 4-ethylenedioxythiophene 또는 Poly styrenesulfonate 용매에 PH510 또는 AL4083 용질을 혼합하여 제조되는데, 본 발명이 적용되는 분야에 따라 정공 흡수층을 형성하기 위한 다양한 정공 흡수 용액이 사용될 수 있다. 활성층의 상면에 분사된 정공 흡수 용액은 이동 벨트(111)의 이동 경로 상에 위치하는 제2 건조기(115)에 의해 건조된다.

[0033] 정공 흡수층이 형성된 기판 유닛(200)은 이동 벨트(111)를 따라 계속 이동하며, 이동 벨트(111)의 이동 경로 상에 배치되어 있는 오목 인쇄 유닛(116)을 통해 정공 흡수층의 상면에 오목 인쇄 방식(gravure)으로 양극 전극층을 인쇄하여 인버티드 유기태양전지를 제조한다. 바람직하게 양극 전극층은 은(Ag)을 톨루엔에 녹여 만든 용액을 이용하여 인쇄된다. 인쇄된 양극 전극층은 이동 벨트(111)의 이동 경로 상에 위치하는 제3 건조기(117)에 의해 건조된다. 제조된 인버티드 유기태양전지의 성능 유지 및 수명 유지를 위해 라미테이터 유닛(118)은 열과 압력에 의해 SiO_2와 같은 무기물 필름을 인버티드 유기 태양전지에 코팅하여 수분 및 산소로부터 인버티드 유기 태양전지를 보호한다.

[0034] 도 4는 본 발명에 따른 다층 투명 전극의 일 예를 설명하기 위한 단면도이다.

[0035] 도 4를 참고로 보다 구체적으로 살펴보면, 기판(210)의 상면에 투명 전극(TCO, Transparent conductive oxide, 221)이 형성되어 있으며, 투명 전극(221)의 상면에 금속층(223)이 형성되어 있다. 바람직하게 금속층(223)은 은, 금, 구리, 알루미늄 재질인 것을 특징으로 한다. 한편, 금속층(223)의 상면에 활성층에서 분리된 전자를 추출하고 흡수하는 전자 흡수층(225)이 형성되어 있다. 기판(210)에 순차적으로 형성되는 투명 전극(221), 금속층(223) 및 전자 흡수층(225)는 다층 투명 전극(220)을 형성한다.

[0036] 여기서 기판(210)으로는 유리, 금속을 포함하여 폴리에틸렌나프탈레이트(PEN), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리카보네이트(PC), 폴리에틸렌술폰(PES), 폴리이미드(PI), 폴리아릴레이트(PAR), 폴리싸이클릭올레핀(PCO), 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 가교형 에폭시(crosslinking type epoxy), 가교형 우레탄 필름(crosslinking

type urethane)와 같은 플렉시블 기판이 사용될 수 있으며 투명 전극(221)으로는 ITO와 같이 광투과성과 전도성이 있는 다양한 물질이 이용될 수 있다.

[0037] 한편, 전자 흡수층(225)은 유기물인 활성층의 산화를 방지하고 흡수된 빛에 의한 활성층의 광안정성을 향상시킬 수 있는 버퍼층으로 작용한다. 무기 재료인 산화아연으로 구성되는 전자 흡수층(225)은 가시광선 대역에서 흡수가 동시에 일어나고 전기적, 광학적 특성이 우수하여 유기태양전지의 광안정성을 향상시키고 효율을 향상시킬 수 있다. 또한, 전자 흡수층(225)은 유기물(PEDOT:PSS)보다 투명 전극(221)과의 접착특성을 향상시켜 활성층과 투명 전극(221) 간에 전자의 흐름을 향상시키는 역할을 한다.

[0038] 본 발명에서 다층 투명 전극(220)은 투명성을 가지는데, 보다 구체적으로 살펴보면 다층 투명 전극(220)으로 조사된 빛(L)은 다층 투명 전극에서 반사(R), 흡수(A), 투과(T)하는 성분으로 구성된다. 다층 투명 전극(220)으로 조사되는 빛의 양은 일정하기 때문에 다층 투명 전극(220)에서 반사되는 빛의 양을 최소화함으로써, 투과도를 높일 수 있는데 다층 투명 전극(220)을 구성하는 투명 전극(221), 금속층(223) 및 전자 흡수층(225)의 두께를 달리하여 반사되는 빛의 양을 최소화하는 효과를 반사방지 효과(Antireflection Effect)라 통칭한다.

[0039] 본 발명에 따른 다층 투명 전극(220)은 투명한 투명 전극(221), 불투명한 금속층(223), 금속산화물로 이루어진 투명한 전자 흡수층(225)로 구성되어 있다. 투명한 전자 흡수층(225)과 불투명한 금속층(223)만으로 구성되어 있거나 또는 불투명한 금속층(223)과 투명한 투명 전극(221)만으로 구성되는 경우, 400nm 내지 700nm의 가시광선에 낮은 투과성을 가지는 반면, 투명 전극(221), 금속층(223) 및 전자 흡수층(225)으로 구성되는 경우 반사방지 효과(Antireflection Effect)에 의해 400nm 내지 700nm의 가시광선에 높은 투과성을 가진다.

[0040] 높은 투과성을 가지며 동시에 높은 전도도를 가지기 위하여 투명 전극(221), 금속층(223) 및 전자 흡수층(225)의 두께를 최적화할 필요가 있는데 투명 전극(221)과 전자 흡수층(225)의 두께는 각각 10nm 내지 100nm이다. 투명 전극(221) 또는 전자 흡수층(225)의 두께가 10nm 이하인 경우 반사방지 효과가 발생하지 않으며, 100nm 이상인 경우 전자 흡수층(225)이 절연체이므로 전도성이 크게 떨어져 전자 추출 및 흡수 효율이 떨어진다.

[0041] 한편, 금속층(223)의 두께는 4nm 내지 20nm이며 바람직하게 8nm 내지 12nm인 것을 특징으로 한다. 금속층(223)의 두께가 4nm 이하인 경우 전도성이 낮아져 투명 전극으로 동작하기 곤란하며 금속층(223)의 두께가 20nm 이상인 경우 높은 투과성을 확보하기 곤란하다. 본 발명에서는 투명 전극(221)과 전자 흡수층(225) 사이에 금속층(223)은 변형 실패율(strain failure)이 50% 이상이기 때문에, 30 내지 50nm로 투명 전극(221)을 얇게 형성하더라도 유연성을 가지는 유기 태양전지를 제조할 수 있으며 기판이 휘더라도 전도도/투과도의 성능을 일정하게 유지할 수 있다.

[0042] 도 5는 본 발명에 따른 다층 투명 전극을 제조하는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0043] 도 5를 참고로 살펴보면, 스퍼터(300)의 내부 챔버(310)에는 기판(210)에 성막하고자 하는 투명 전극층 타켓(320), 금속층 타켓(330) 및 전자 흡수층 타켓(340)이 배치되어 있다. 투명 전극층 타켓(320), 금속층 타켓(330) 및 전자 흡수층 타켓(340)에 순차적으로 전력을 인가하여 기판(210)의 상면에 투명 전극층, 금속층 및 전자 흡수층을 동일한 스퍼터 챔버에서 진공을 유지하면서 제조하는데, 투명 전극층(221)을 기판(210)에 성막하기 위한 구체적인 스퍼터링 동작 조건은 아래의 표1과 같다.

표 1

[0044]

타겟 물질(target material)	ITO
모재 기판(substrate)	유리
시스템 압력(base pressure of system)	3×10^{-6} Torr 이하
가스비(flow rate)	Ar:O_2 20:0.3sccm
인가 전력(power injection)	DC 100W
공정 압력(working pressure)	2m Torr

[0045] 스퍼터 챔버(310)의 내부 압력을 3.0×10^{-6} Torr로 유지하면서 기판(210)과 투명 전극층 타겟(320) 사이의 거리

는 10cm로 유지시킨다. 비활성가스인 아르곤 가스(Ar) 20sccm과 산소 가스 0.3sccm 비율로 챔버에 주입시키며 DC파워 100W를 인가하여 플라즈마를 형성한 후 공정 압력을 2mTorr로 설정한다. 바람직하게 투명 전극층 타겟(320) 표면의 이물질 및 플라즈마 안정화를 위한 프리-스퍼터링(pre-sputtering) 공정을 10분간 진행한 후, 기판(210) 위에 투명 전극층(221)을 성막한다.

[0046] 한편, 금속층(223)을 성막하기 위한 구체적인 스퍼터링 동작 조건은 아래의 표2와 같다.

표 2

[0047]

타겟 물질(target material)	Ag
모재 기판(substrate)	유리
시스템 압력(base pressure of system)	3×10^{-6} Torr 이하
가스비(flow rate)	Ar 20sccm
인가 전력(power injection)	DC 100W
공정 압력(working pressure)	2m Torr

[0048] 스퍼터 챔버(310)의 내부 압력을 3.0×10^{-6} Torr로 유지하면서 기판(210)과 은 금속층 타겟(330) 사이의 거리는 10cm로 유지시킨다. 산소 가스의 주입을 중단하고 비활성가스인 아르곤 가스(Ar) 20sccm를 주입시키며 DC파워 100W를 인가하여 플라즈마를 형성한 후 공정 압력을 2mTorr로 설정한다. 바람직하게 금속층 타겟(330) 표면의 이물질 및 플라즈마 안정화를 위한 프리-스퍼터링(pre-sputtering) 공정을 10분간 진행한 후, 투명 전극층(221) 위에 금속층(223)을 성막한다.

[0049] 마지막으로 전자흡수층(225)을 성막하기 위한 구체적인 스퍼터링 동작 조건은 아래의 표3과 같다.

표 3

[0050]

타겟 물질(target material)	TiO_2 or ZnO
모재 기판(substrate)	유리
시스템 압력(base pressure of system)	3×10^{-6} Torr 이하
가스비(flow rate)	Ar 20sccm
인가 전력(power injection)	RF 100W
공정 압력(working pressure)	2m Torr

[0051] 스퍼터 챔버(310)의 내부 압력을 3.0×10^{-6} Torr로 유지하면서 기판(210)과 은 전자 흡수층 타겟(340) 사이의 거리는 10cm로 유지시킨다. 비활성가스인 아르곤 가스(Ar) 20sccm를 주입시키며 RF파워 100W를 인가하여 플라즈마를 형성한 후 공정 압력을 2mTorr로 설정한다. 바람직하게 전자 흡수층 타겟(340) 표면의 이물질 및 플라즈마 안정화를 위한 프리-스퍼터링(pre-sputtering) 공정을 10분간 진행한 후, 금속층(223) 위에 전자흡수층(223)을 성막한다.

[0052] 도 6은 본 발명에 따른 다층 투명 전극을 제조하는 방법의 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.

[0053] 도 6을 참고로 살펴보면, 스퍼터(400) 챔버(410) 내에 유연한 기판(210)을 연속하여 회전시키며 공급하는 회전 드럼(415)과 회전 공급되는 기판(210)에 대향하여 투명 전극층 타켓(420), 금속층 타켓(430) 및 전자 흡수층 타켓(440)이 배치되어 있다. 회전 드럼(415)을 통해 연속하여 공급되는 기판(210) 위에 순차적으로 투명 전극층 타켓(420), 금속층 타켓(430), 전자 흡수층 타켓(440)을 연속 스터퍼링하여 롤투롤(roll to roll) 방식으로 다층 투명 전극을 제조할 수 있다.

[0054] 도 7은 본 발명에 따른 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 따라 제조된 인버티드 유기 태양전지와 종래 인버티드 유기 태양전지의 제조 방법에 따라 제조된 인버티드 유기 태양전지의 성능을 비교한 그래프이다.

[0055] 도 7을 참고로 살펴보면, 100mW/cm^2 의 광원에서 측정된 전류 밀도-전압(J-V curve)에서 x축의 전압은 빛을 받았을 때 태양전지의 양단에 형성되는 전위차를 나타내고 y축의 전류 밀도(current-density)는 태양전지의 단위

면적당 발생되는 전류 밀도를 나타낸 값이다. 태양전지의 파워 변환 효율(power conversion efficiency)은 아래의 수학식(1)과 같이 표현되는데,

[0056] [수학식 1]

[0057] 파워 변환 효율=(FF x V_{oc} x J_{sc})/P_s

[0058] 여기서 P_s는 태양전지에 주입되는 파워, 즉 태양으로부터 받은 빛을 파워로 변환한 값, FF는 fill factor, V_{oc}는 전류값이 0일 때의 전압 값, J_{sc}는 전압이 0일 때 전류 값을 말합니다. 한편 FF는 출력량의 이론 최대치와 실제치의 비율을 뜻하는데 아래의 수학식(2)와 같이 표현된다.

[0059] [수학식 2]

[0060] $FF=J_mV_m/J_{sc}V_{oc}$

[0061] 여기서 J_M과 V_M은 각각 최대 출력에서의 전류값과 전압값을 의미한다. FF 그래프가 사각형에 가까울수록 FF값이 높으며 FF값이 높을수록 소자의 효율이 높아진다.

[0062] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 예를 들어, 용액 공정으로 슬랏 다이를 이용한 코팅 방식을 설명하였으나 본 발명이 적용되는 분야에 따라 스핑 코팅(Spin Coating), 코팅하고자하는 샘플을 용액이 담긴 용기 속에 담갔다가 꺼내 코팅하는 딥 코팅(Dip Coating), 분무기와 같은 장치를 사용하여 압축공기 또는 압송에 의해 용액를 안개 상태로 하여 샘플 표면에 분무하여 코팅하는 스프레이 코팅(spray coating) 등의 방식이 사용될 수 있으며, 이는 본 발명의 범위에 속한다.따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 등록청구범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

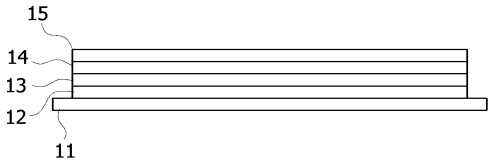
부호의 설명

[0063]

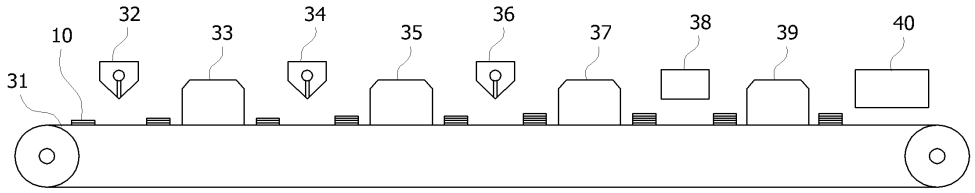
10, 200: 기판 유닛
31, 111: 이동벨트
32, 112: 제1 슬롯 다이
33, 113: 제1 건조부
34, 114: 제2 슬롯 다이
35, 115: 제2 건조부
36: 제3 슬롯 다이
37, 117: 제3 건조부
39: 제4 건조부
38, 116: 오목 인쇄 유닛
40, 118: 라미네이터 유닛
210: 기판
220: 다층 투명 전극
221: 투명 전극
223: 금속층
225: 전자 흡수층
300, 400: 스퍼터
310, 410: 스퍼터 챔버
320, 420: 투명 전극층 타겟
330, 430: 금속층 타겟
340, 440: 전자 흡수층 타겟

도면

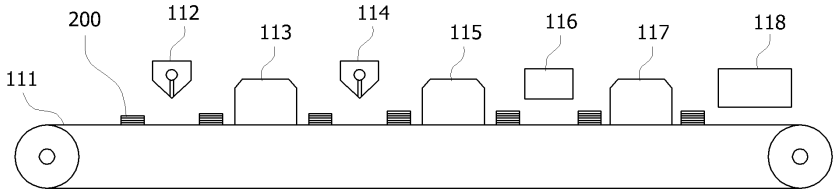
도면1



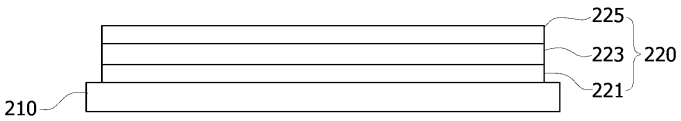
도면2



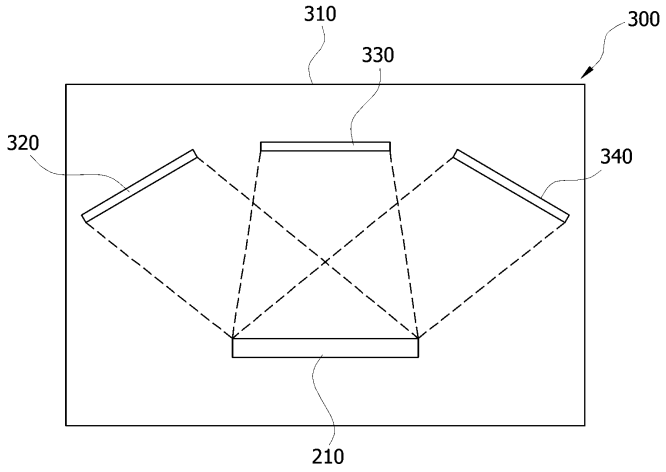
도면3



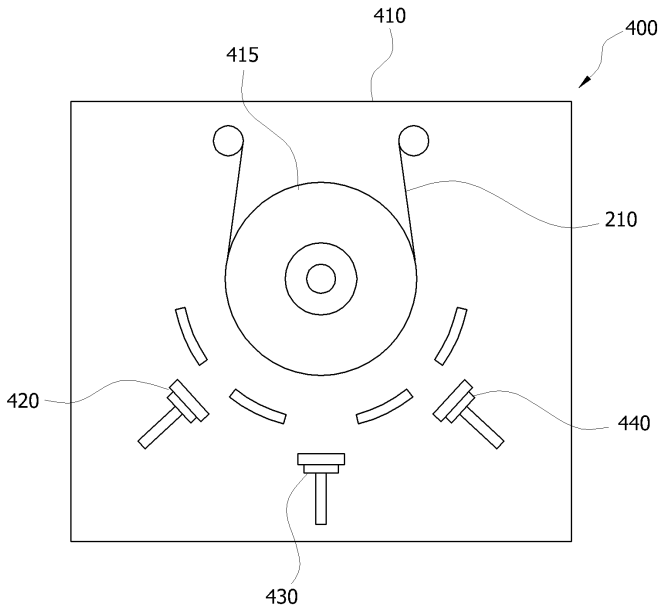
도면4



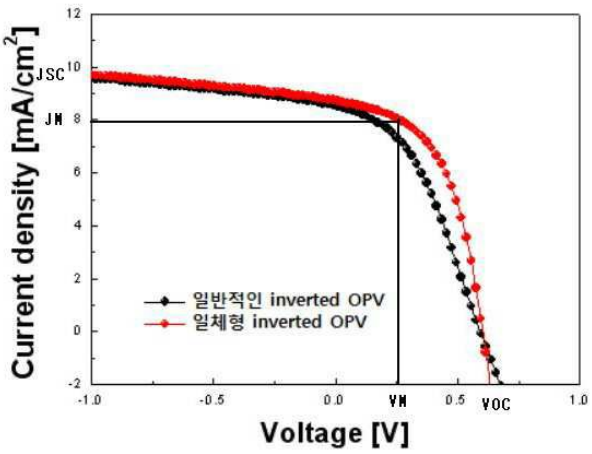
도면5


310
330
300
320
340
210

도면6


410
400
415
210
420
440
430

도면7


Current density [mA/cm2]
Voltage [V]
JSC
JM
VM
VOC
일반적인 inverted OPV
일체형 inverted OPV